

5.Руководящие указания по испытаниям тепловой изоляции на электростанциях. – М.: БТИ ОРГРЭС, 1964.

Отримано 03.02.2003

УДК 621.444 + 621.577

В.Ф.ГУБАРЬ, д-р техн. наук, С.А.ГОРОЖАНКИН, канд. техн. наук
Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК СТИРЛИНГА С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются особенности теплонасосных установок с термотрансформаторами, работающими по циклу Стирлинга. Исследована их эффективность с различными вариантами привода, а также природными возобновляемыми источниками теплоты.

В условиях дефицита тепловой и электрической энергии, необходимости экономии энергоносителей особое внимание привлекают системы малой мощности для индивидуального теплоснабжения жилых и общественных зданий. К основным задачам по повышению эффективности таких систем относится разработка автономных теплогенераторов, комплексных систем теплохладоснабжения с тепловыми насосами, что соответствует приоритетному направлению «Экологически чистая энергетика и энергосберегающие технологии».

Практика эксплуатации [1, 2] систем отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования показывает, что децентрализованное теплоснабжение, полностью исключаящее прокладку тепловых сетей, позволяет уменьшить тепловые потери в 3-5 раз. Теплонасосные установки (ТНУ), широко выпускаемые в странах Западной Европы, США, Японии, особенно эффективны при малой плотности застройки, использовании энергии естественных источников теплоты – воды, грунта, воздуха и т.д. Среди ТНУ наиболее перспективными считаются установки на базе тепловых машин Стирлинга (ТМС) [3-5]. Их эффективность выше, чем термотрансформаторов других типов. Исследования ТМС в Украине проводятся в недостаточном масштабе, хотя за рубежом созданы и испытываются экспериментальные установки различного назначения, работающие по циклу Стирлинга. Такое состояние проблемы требует активных действий в этом направлении, включая научные исследования.

Внедрение ТНУ с ТМС, использующими естественные источники низкопотенциальной теплоты, позволяет повысить суммарный коэффициент преобразования первичной энергии в 1,5-2 раза. Использо-

вание вторичных энергоресурсов дает возможность еще больше увеличить его. В контексте указанной проблемы целью настоящей работы является исследование эффективности комплексных ТНУ с машинами Стирлинга и путей ее повышения.

Для термотрансформаторов метод замкнутой оптимизации [6] позволяет находить оптимальные значения и основные соотношения параметров ТМС. Для них существенное влияние на характеристики оказывают параметры внешних теплообменных контуров и дополнительных устройств ТНУ. При этом многие величины выбирают, исходя из конструктивных соображений, возможностей технологии изготовления и требований эксплуатации.

Действительные циклы термотрансформаторов и их параметры обладают рядом особенностей, которые определяют специфику конструкций ТНУ. Среди основных причин здесь необходимо отметить малые температурные напоры в нагревателе $\Delta T_{\text{нагр}}$ и охладителе $\Delta T_{\text{охл}}$. Рекомендуемая многими авторами [см. 3, 4] оптимизация по параметрам тепловой мощности позволяет достигнуть достаточно высоких их значений, но эффективный КПД ТМС, как показывают наши исследования, при этом невелик (табл.1). Его величины для термотрансформаторов могут составлять менее 0,1, что для практических целей неприемлемо. Одновременно установлено, что оптимизация по эффективно-му КПД позволяет значительно увеличить его значение.

Таблица 1 – Сравнение параметров двигателей и термотрансформаторов

Назначение ТМС	Оптимизируемый параметр	Параметры ТМС			
		параметр мощности	эффективный КПД	$\Delta T_{\text{нагр}}, \text{ К}$	$\Delta T_{\text{охл}}, \text{ К}$
Двигатель	параметр мощности эффективный КПД	0,138	0,359	104	59
		0,0832	0,433	59	27
Холодильная машина	параметр мощности эффективный КПД	0,123	0,0777	18	11
		0,060	0,351	2,6	1,2
Тепловой насос	параметр мощности эффективный КПД	0,234	0,173	51	19
		0,070	0,610	1,9	1,6

Для термотрансформаторов характерны большие значения мертвых объемов нагревателей, охладителей и регенераторов. Вследствие этого возрастают длины трубок в теплообменниках, что усложняет их компоновку в конструкциях ТМС. Для многоцилиндровых машин задача несколько облегчается путем построения модульных конструкций [7, 8].

В низкотемпературных системах, с которыми работают ТНУ, изменение температуры теплоносителя в отопительных приборах составляет 10-15 °С. Соответственно, расходы теплоносителей возрастают в 2-3 раза, что требует повышенных затрат энергии на их транспортировку. Изменение температуры теплоносителя, поступающего из низкотемпературного источника теплоты, в процессе отвода теплоты от источника не превышает нескольких градусов. Характерной особенностью при этом являются большие расходы в контуре источника и затраты мощности на прокачку. Поэтому в процессе оптимизации осуществляется поиск наилучшего соотношения параметров источников и ТМС, т.е. оптимизация параметров ТНУ в целом.

Число цилиндров ТМС определяется модификацией, мощностью, а также требованием уравнированности механизма. При оптимизации параметров по КПД эта величина для машин двойного действия составляет 3, 6, 12, 24 и т.д. Схемы с «изотермическими» цилиндрами [8] целесообразно разрабатывать при числе цилиндров 6 и более. У термотрансформаторов на базе ТМС при уменьшении разности температур в нагревателе и охладителе коэффициент преобразования действительных циклов приближается к максимально возможному и вполне определенному значению. Исследования показали, что при разности температур источников 10 °С эта величина составляет 9,8. Для пароконденсационных тепловых насосов при тех же условиях значение коэффициента преобразования составляет около 9 [2].

Тепловые насосы наиболее эффективны при использовании их в местных системах теплоснабжения, хотя за рубежом эксплуатируются ТНУ и в системах централизованного теплоснабжения. Исследования свидетельствуют, что при любом из рассмотренных типов привода коэффициент преобразования энергии (КПЭ) у ТНУ с ТМС выше, чем у централизованных систем теплоснабжения с котельными (табл.2).

Таблица 2 – Сравнение параметров ТНУ для различных вариантов привода

Тип привода	Мощность теплового насоса, кВт	Мощность на валу привода, кВт	Коэфф. преобразования теплового насоса	КПД привода	Суммарный КПЭ ТНУ
Электродвигатель	64,0	14,2	4,50	0,95	1,49
Дизельный ДВС	55,4	12,2	4,53	0,36	1,87
Двигатель Стирлинга	50,4	11,0	4,57	0,33	2,11

Для большей эффективности ТНУ необходимы системы отопления с температурами +50/+30 °С и ниже. Регулирование тепловой

мощности термотрансформаторов и ТНУ не требует быстрых ее изменений. Количественное регулирование обеспечивает снижение температуры в системе отопления с ТНУ, что позволяет повысить коэффициент преобразования, несмотря на уменьшение эффективного КПД вследствие роста относительных потерь. Такое регулирование является более рациональным по сравнению с количественным.

Изменение мощности термотрансформаторов при работе их в режиме охлаждения принципиально не отличается от регулирования в режиме тепловых насосов. Системы горячего водоснабжения при этом подключены к нагревателям машины через объемный теплообменник, являющийся одновременно и баком-аккумулятором.

Среди природных источников теплоты, которые в условиях Украины могут быть практически использованы для работы комплексных установок с ТМС, следует выделить следующие:

а) Наружный атмосферный воздух. В большинстве регионов Украины он может быть использован в качестве основного источника теплоты лишь при наличии резервных средств отопления или источников.

б) Вода пресноводных водоемов обеспечивает относительно стабильные значения коэффициента преобразования в течение всего отопительного периода. Осенью удастся получать высокие значения этого коэффициента благодаря теплоте, аккумулированной водой в течение летнего периода.

в) Морская вода, использование теплоты которой менее эффективно, чем пресной, тем не менее, является неограниченным источником теплоты по сравнению с закрытыми водоемами.

г) Грунтовые воды как источник теплоты требует предварительного бурения скважин для забора, а также сброса воды. Использование их затруднено при большой глубине залегания вод из-за потерь энергии на их подъем.

д) Теплота грунта может быть использована в качестве источника практически в любом регионе. Этот источник при отсутствии близлежащих водоемов является предпочтительным для обеспечения теплотой ТНУ.

е) Геотермальные воды являются эффективным источником теплоты. В Украине перспективные регионы – Закарпатье и Крым. Недостатком таких вод (исключение – самоизливающиеся) является большая глубина залегания.

ж) Энергия ветра – один из наиболее перспективных источников. В этом случае образуется автономная система электро- и теплоснабжения.

з) Солнечная энергия, которую следует рассматривать только как дополнительный источник.

и) Воздух, удаляемый через систему вентиляции. Его теплота может выступать в роли дополнительного источника для ТНУ.

Выводы

1. Параметры термотрансформаторов следует оптимизировать по их коэффициенту преобразования или эффективному КПД; для комплексных ТНУ необходимо осуществлять замкнутую оптимизацию с учетом параметров всех устройств, в их состав.

2. Рекомендуемым приводом ТНУ являются двигатели Стирлинга.

3. Для установок с термотрансформаторами предпочтительным является режим качественного регулирования тепловой мощности при ее снижении и количественного при росте по отношению к номинальному значению. Оптимизацию параметров ТНУ рекомендуется проводить для осредненного значения их мощности в течение отопительного периода.

Дальнейшие исследования систем теплоснабжения с ТМС следует проводить в направлении разработки и создания специфических конструкций, применяемых в таких системах, повышения эффективности совместной работы термотрансформаторов с источниками теплоты в соответствии с параметрами этих источников или вторичных тепловых энергоресурсов.

1. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

2. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.

3. Уокер Г. Двигатели Стирлинга. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

4. Ридер Г., Хупер Г. Двигатели Стирлинга. – М.: Мир, 1986. – 464 с.

5. Ingersoll I.G., Arasteh D.K. Energy Efficiencies of Heat Pumps in Residential Buildings. -Energy and Buildings, 1983, N 5, p.253-262.

6. Горожанкин С.А. Метод замкнутой оптимизации для анализа параметров действительных циклов машин Стирлинга // Вісник Донбаської держ. акад. буд. і арх. Вип.2000-5(25), 2000. – С.14-18.

7. Горожанкин С.А. Математическое моделирование термотрансформаторов и обратных циклов Стирлинга // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип.38. – К.: Техніка, 2002. – С.182-189.

8. Горожанкин С.А. Модульный принцип построения универсальных тепловых машин Стирлинга // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Межд. сб. научных трудов. Вип.20. – Донецк: ДонГТУ, 2002. – С.100-104.

Получено 05.02.2003